

JACA

JOURNAL OF JAPAN AIR CLEANING ASSOCIATION

空気清浄[®]

コンタミネーションコントロール

【特集】紫外線利用による環境浄化の現状と課題

- 特集にあたって
- 紫外線殺菌の過去・現在・将来
- 紫外線による空気殺菌～現場からの報告～
- 紫外線技術の水処理への応用と課題
- 食品・医療分野における紫外線利用の現状と課題
- 新UVA-LEDの環境浄化への応用と展開

【委員会報告】

製薬工場等の設備エネルギー換算係数とその解説

【講座】微粒子の計測技術(第6回)

ナノ粒子材料製造における作業環境評価と超微粒子計測技術

・クリーンテクノロジー講座開催案内掲載

・第31回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会
論文募集要項掲載

2013
第51巻
第3号

紫外線による空気殺菌
～現場からの報告～

Sterilization of the air using ultraviolet rays
～Report from the various facilities～

木 原 寿 彦 Toshihiko Kihara

空気清浄第51巻第3号

(平成25年9月30日発行)

紫外線による空気殺菌 ～現場からの報告～

Sterilization of the air using ultraviolet rays
～Report from the various facilities～

木 原 寿 彦 Toshihiko Kihara

Abstract

UR-UVGI is air sterilizers that introduction is relatively easy.

We have carried out many examinations of floating bacteria in various facilities, the problem that we must work on became clear from these experiences.

We must study effective combination of UR-UVGI and air-conditioning system to let UR-UVGI show a stable bacterial killing ability.

キーワード：

空気感染 airborne infection 紫外線照射殺菌 UVGI (Ultraviolet Germicidal Irradiation)
殺菌 sterilization 空調 air conditioning 気流解析 air flow analysis

1. はじめに

現エネフォレスト株式会社の開発した紫外線による空気殺菌装置「エアロシールド」(当初の製品名は「エアシールド」)は、販売開始以降これまで様々な施設に1000台以上の導入実績を持つに至った。

本稿では、エアロシールド開発の経緯と発売後の状況、具体的な現場での簡易浮遊菌検査結果に関する評価、課題と今後の展開の順に述べることにしたい。

なお、表題を「～現場からの報告～」としたのは、以下の理由による。

当社では、社内に専門の研究部門を持たない。したがって、開発段階での実証実験結果や様々な現場で行なった簡易浮遊菌検査の結果について、これらを科学的な手法で分析、検討し、「論文」の形式に整えることが困難である。このため、本稿を単に「報告」とし、様々な現場で行なった簡易浮遊菌検査のうち、抑えるべきポイントを有する結果をピックアップし、評価を加える形式を採ったものである。

しかしながら、研究により導き出された理論と、そのエネフォレスト(株)

理論の現場での実践及び結果は、紫外線を利用した空気殺菌の活用のために、常にフィードバックし合う関係にあるべきで、そうであるとすれば、本報告も一定の意味を持つものと考え、執筆を決めた次第である。

2. 開発の経緯と発売後の状況

(1) 開発の経緯

開発のきっかけは、ある有料老人ホーム内の、入居者が寝起きするベッドサイドで浮遊菌検査を実施したところ、病原菌を含む想像以上の浮遊菌が検出されたことにある。老人ホーム等の高齢者向け施設では肺炎で亡くなる方が多いという漠然とした印象は持っていたが、検査結果の報告を受け、このような空間環境を改善する装置の普及を急がねばと強く感じた。そして、空気殺菌の方法を検討した結果、紫外線を利用することにした。

紫外線を利用した空気殺菌装置は、以前より存在していた。紫外線の照射方向で分類すると、装置を天井から吊り下げ天井方向へ向けて照射する型と(仮に、上方照射型とする)、装置を壁の上部または天井に設置して床方向へ向けて照射する型(仮に、下方照射型とする)の、

原稿受理 平成25年7月30日

2つの型である。これらの装置には、其々問題点があると考えた。それは、上方照射型は、取扱説明書をみると、病室・ベビールーム等皮膚の弱い人がいる場所では使用しないこと、点灯時間は1日延べ8時間以内にすることと警告されていて、在室する人によっては使用できず、また使用できる空間でも点灯時間の制限がある点、下方照射型は紫外線ランプが露出しているの、直接的な紫外線の曝露を避けるため、人がいる空間で使用できないという点であった。

しかしながら、「人がいる空間で使用できない」等の性質は、空気感染対策の効果という観点からすると疑問があった。空気感染を引き起こす原因となるウイルスや細菌、真菌は、外気の流入や人の表面（毛髪、皮膚、衣服など）、モノの表面（食材など）に付着した状態で、ある空間外からある空間内に持ち込まれ、あるいは空間内にいる感染症罹患者の体内から体外＝空間に放出される（咳、内視鏡検査時に発生する病原菌を含むエアロゾルの浮遊・拡散など）と考えられたからである。

そこで、エアロシールド製造にあたっては、「人がいる空間でも、24時間、安全に空気殺菌できること」を目標とした。

この目標を実現するためにクリアしなければならなかった課題は大きく3つあった。

まず、装置の設計段階で、散乱する性質をもつ紫外線（UV-C）をいかにして制御、具体的には直進性を持たせることができるかであった。直進性を持たせることができれば、紫外線の水平照射が可能となり、人がいる空間の上部に紫外線の照射ゾーン（以下、殺菌ゾーンという）を形成することができるからである。そして、試行錯誤を重ねた結果、紫外線に直進性を持たせ、水平に照射させることに成功した。

次に、設置する実際の空間において高い殺菌効果を上げるために、いかに効率よく、殺菌ゾーンにウイルス、細菌等を通過させるかという課題があった。これについては、気流解析の結果、建造物内の空間（部屋）の空気は、様々な要因によって1時間あたり3～5回対流し、かつ混合していることが判った。この結果から、ウイルスや細菌などが移動するおおよその速度、殺菌ゾーンを通過する回数及び時間を導き出し、合わせて、使用する紫外線ランプの照度、ウイルスや細菌を殺菌するために必要な紫外線量を総合的に検討した結果、本体内部にファンを組み込んで対流を作り出さなくても、空間内の自然対流を利用するだけで、十分な殺菌効果が得られるとの結論を得た。

最後は、いかにして安全性を確保するかという、実際

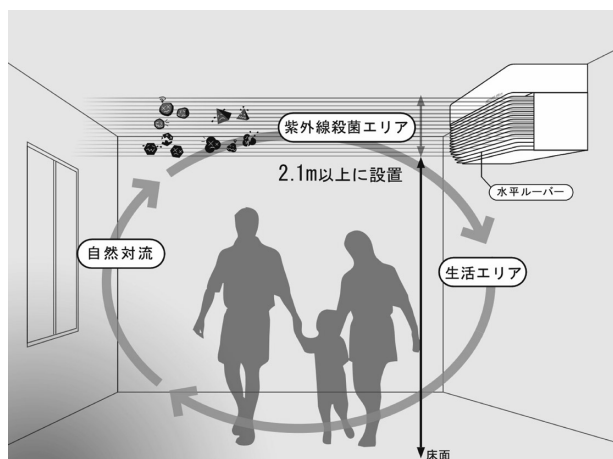


図1 エアロシールド（UR-UVGI）の殺菌メカニズム

には最も困難な課題があった。なぜなら、安全性の確保は、紫外線（UV-C）の人体への影響を考えると、装置の設計だけではなく、実際の現場での設置位置の選定及び設置作業、設置後の保守・管理という各シーンにおいて徹底しなければならないからである。まず、安全性の基準はJIS規格（1日（8時間）の曝露許容量 $60\text{J}/\text{m}^2$ ）を参考に、UV-Cの照射量を $0.2\mu\text{w}/\text{cm}^2$ と定めた。そして、殺菌ゾーンより下方の、人がいる空間のすべてにおいてこの安全性基準を満たすため、装置を設置する高さを床面より2.1m以上とした。これは、日本人の身長と、直進性を持たせ水平に照射された紫外線もランプからの距離が長くなるにつれて散乱する性質が出てしまうこと、以上の2点を考慮したものである。そして、設置後は速やかに、5～6の地点で、床面からの高さ1.8mの空間の紫外線量の測定を行い、安全性を確認するという手順も加えた。さらに、紫外線ランプの交換等の保守・管理も、設置した施設側ではなく、当社または当社の指導を受けた代理店のみが行い、万が一の曝露を防ぐための手順も加えた（完成したエアロシールドの殺菌メカニズムは図1参照）。

以上の課題をクリアして開発されたエアロシールドは、結果的にはあるが、その本体設計、設置基準、保守・管理という点において、CDCガイドライン¹⁾が求めるUR-UVGI（Upper Room-Ultraviolet germicidal irradiation 室上部照射型紫外線殺菌）の基準を満たすものとなった。すなわち、CDCガイドライン¹⁾によれば、UR-UVGIに関し、ランプ底面を遮蔽して紫外線が下方へ照射されないようにし、室内上部に高度紫外線殺菌帯域を作り出す一方で、人のいる室内下部の紫外線殺菌レベルを最小限に抑えなければならない、紫外線殺菌ランプ器具を天井から吊り下げるか壁面に設置する、天井が十分に高い必要がある（高さ2.5m以上）、警告サインを掲示して危険

を知らせなければならない、紫外線ランプの交換スケジュール作成、ランプ交換に際し、保守要員が室内上部空間に近づく際は、目的を問わず、事前にすべての紫外線ランプの電源を切る、紫外線測定をする等としているが、エアロシールドはこれらの要求を満たしているものと考えている。このことは、紫外線（UV-C）のもつ優れた殺菌効果を活かしつつ、安全性を確保しようとするならば、必然的にたどり着くものともいえるが、何よりも重要な点は、CDCガイドライン¹⁾に上記の記述があるということであろう。なぜなら、CDCにより推奨されているということは、UR-UVGIが、「示唆に富む臨床研究または疫学的研究あるいは理論的根拠により支持されている」（カテゴリーⅡ）からである。

(2) 発売後の状況

完成したエアロシールドは、実空間（実際に日常的に使用されている空間という意味で使う。対義語は試験空間とする）において浮遊菌数を89.6%減少させるという優れた殺菌能力（検査機関：株式会社ビー・エム・エル）を有する他、以下のメリットを併せ持っている。まず、本体が軽量（約3kg）コンパクト（W28cm×H12cm×D12.5cm）なので、既存建物への後付け導入が容易であり、かつ工事時間が短い（1台につき1時間程度）ので、導入施設の通常業務の妨げを最小限に抑えることができる。次に、イニシャルコスト、ランニングコストを抑えることができ、かつその殺菌能力からみると費用対効果が高い。最後に、保守・管理につき導入施設側に新たな業務負担を増やすことがない。

発売開始以降は、様々な施設で積極的に簡易浮遊菌検査を実施した。簡易浮遊菌検査は、導入を検討している実空間の浮遊菌の状態のみを対象とする場合と、さらにそれから、エアロシールドを持ち込んで稼働させ、稼働前と稼働後の比較をする場合の2パターンで実施した。これらの検査から得られた結果は時として非常に示唆に富むものであった。すなわち、検査を実施した実空間は、広さ、形状、室内気流、空調システム、温度、湿度、人の出入りなど其々違った“個性”があり、現場によっては、想定外の結果が報告されることもあったが（主な原因は、空調機器からの真菌の放出、空間内の空气の停滞であった）、現場で初めて経験した課題とそれへの対応を通し、エアロシールドの性能を改めて確認でき、また、より高い殺菌能力を発揮し空气の清浄度を高めるための環境整備をいかにすべきかということを把握することができたのである。その結果、エアロシールド導入を提案するにあたり、効果を最大限に発揮するための環境整備も合わせてアドバイスすることが可能となった。

3. 具体的な現場での簡易浮遊菌検査結果に関する評価

簡易浮遊菌検査結果に関する個別の評価に入る前に、述べておきたいことがある。

減少率について、90%を超えるものもあれば、60%台のものもあり、一見すると、現場によっては殺菌能力を発揮しにくいことがあるのではないかと考えられるかもしれないが、必ずしもそうではない。空気感染対策が目的であるから、1m³あたりの菌数（cfu）が少ないほど対策効果が高いといえる。したがって、cfuに注目していただきたい。

紫外線ランプの照射時間もまちまちである（20分～6日）。UR-UVGIは、基本的に、24時間連続で使うことが望ましいと考えている。しかし、簡易浮遊菌検査は日常的に業務が行われている場所で実施するので、業務に支障がないよう、検査行程のすべてをなるべく短時間で終わらせほしいと要望されることが多い（紫外線ランプの照射時間に関していえば、1時間から2時間という場合が多い）。ただ、CT室や内視鏡室をできるだけ短い時間で空間殺菌し効率よく検査を行いたいという病院からの要望で、感染管理認定看護師と打合せの上、紫外線照射20分後と50分後の検査を実施したケースもあるし、許可を得て1週間程度検査を続行できた施設もある。

簡易浮遊菌検査を実施した現場も様々である。同じ病院（医院）でも、待合室、診察室、内視鏡準備室といった使用目的、利用目的の違う空間で実施しているし、病院（医院）以外では、歯科医院、高齢者向け施設、保育園・幼稚園、宿泊施設、食品加工場、厨房、コールセンターなどでも実施している。

なお、簡易浮遊菌検査の結果に関し、同定までは行っていないこと、稿中で清浄度に関する記述があるが、これは日本病院設備協会規格 HEAS-02（1998）（表1）、日本建築学会環境基準 AJIES-A002（2005）（表2）を参考にしていることに留意していただきたい。

では、具体的な簡易浮遊菌検査結果を示しながら、其々についてコメントする。

(1) 銀行コールセンター（表3）

この結果は、エアロシールド（UR-UVGI）の優れた特性を示す例として、詳しく取り上げたい。

空間殺菌装置は、浮遊菌による空気感染対策のための装置であるから、実空間で殺菌効果を発揮しなければ意味がない。この事例では、約1週間にわたり、コールセンターの通常業務が行われている状況で（在室人数の変動は13人から35人）簡易浮遊菌検査を実施したものであ

表1 清浄度区分に基づく許容微生物個数濃度

日本病院設備協会規格 HEAS-02 (1998)

清浄度	室名	微生物個数 (個/m ³)
I	バイオクリーン手術室、バイオクリーン病室	10
II	一般手術室、手術用配盤室、清潔廊下、材料部門の既滅菌室、無菌製剤室、開創照射室、手洗いコーナー	200
III	手術部周辺区域 (回復室など)、NICU、ICU、CCU、未熟児室、特殊検査・治療室、分娩室、調乳室	200
IV	一般病室、デイルーム、診察室、待合室、玄関ホール、材料部・検査部の一般区域諸室、X線撮影室、内視鏡室、人工透析室、通常新生児室、物理療法室、調剤室	200~500

表2 日本建築学会環境基準 AJIES-A002 (2005)

学校

	設計基準 cfu/m ³	維持管理基準 cfu/m ³
浮遊細菌	10000以下	10000以下
浮遊真菌	200以下	200以下

事務所

	設計基準 cfu/m ³	維持管理基準 cfu/m ³
室内浮遊細菌濃度	200以下	500以下
室内浮遊真菌濃度	20以下	50以下

食品工場

	清潔作業 区域 (BCR)	清潔作業 区域	準清潔作業 区域	汚染作業 区域
浮遊菌数 cfu/m ³	10以下	100以下	400以下	1000以下

※浮遊菌は、細菌、真菌の区別なし

表3 銀行コールセンター

cfu/m ³ avg.	UVGI OFF時	UVGI ON 1時間後	UVGI ON 1日後	UVGI ON 6日後	UVGI OFF 1日後
	238.4	49.2	15.2	13.6	69.6
相対湿度	—	—	—	—	—
増減率	—	▲79.36%	▲93.62%	▲94.30%	411.76% (前日比)

る。

コールセンター内の1フロア (約500m³) にエアロシールド4台を設置し、フロア内の計5ヶ所でエアサンプリングした。エアサンプリング時、エアコンはON、窓は閉めていた。

測定機器はエアサンプラー-BIO-SAMP、サンプリング量250リットル、培地は一般細菌用培地 (SCD培地)、培養条件は30℃48時間培養、算出方法はコロニーカウント方式、培養・計測は株式会社ビー・エム・エル総合研究所形態分析部細菌検査課が行った。

結果は、表3のとおりである。UR-UVGIを作動させる前 (「UVGI OFF時」) ではcfu (菌数) が平均して1 m³あたり238.4であったが、UR-UVGIの電源を入れ紫外線照射を開始してから1時間後にはcfuが49.2 (減少率79.36%)、1日後にはcfuが15.2 (減少率93.62%)、6日後にはcfuが13.6 (減少率94.30%) まで減少した。この1 m³あたりのcfuが13.6ということは、ほぼバイオクリーン手術室レベルの清浄度であり (バイオクリーン手術室、バイオクリーン病室は1 m³あたりのcfuが10以下)、非常に満足いく結果であった。6日後のエアサンプリングの後UR-UVGIによる紫外線照射を止めたが (「UVGI OFF」)、それから1日後、エアサンプリングし検査したところ、1 m³あたりのcfuは、前日と比較して411.76%増となる69.6まで増えていた。この事実は、cfuの減少が紫外線照射によるものであることの証明にもなると考える。

表4 病院 内視鏡準備室

cfu/m ³ avg.	UVGI OFF時	UVGI ON 20分後	UVGI ON 50分後
	92	42	28
相対湿度	55%	62%	66%
増減率	—	▲54.34%	▲69.57%

(2) 病院 内視鏡準備室 (表4)

病院側からの要望は、結核の院内感染対策として、CT室や内視鏡室をどれくらい早く清浄できるかを試験したいとのことであった。そこで、UR-UVGI作動後20分、50分の2回エアサンプリングを行い検査した。検査した空間はもともと清浄度の高い空間であったが、作動後20分でcfuが42、50分でcfuが28と、非常に高い清浄度まで引き上げることができた (空間に残存し浮遊していたものの多くは真菌であろうと推測される。真菌は、ウイルスや細菌と比較して、紫外線照射による死滅までの時間が長いからである。(1)水産加工場に関する箇所を参照)。

結核の院内感染対策として、CT室や内視鏡室、気管支鏡室など二次感染のリスクがある空間では、UR-UVGIを設置し24時間作動させることは、非常に有効な手段である。

(3) 高齢者向け施設 談話室 (表5)

施設側から、UR-UVGIが、日常と変わらず人が出入りする状況でどれくらいの殺菌能力があるのか試験したいとのこと、施設内の談話室 (玄関口から廊下、厨房はオープンスペースとなっている) で検査を行なった。

表5 高齢者向け施設 談話室

cfu/m ³ avg.	UVGI OFF時	UVGI ON 2 時間後	UVGI ON 4 時間後
	2362	396	316
相対湿度	54%	54%	57%
増減率	—	▲83.23%	▲86.62%

表6 小児科医院 待合室

cfu/m ³ avg.	UVGI OFF時	UVGI ON 3 時間30分後
	572	168
相対湿度	—	—
増減率	—	▲70.63%

表7 調剤薬局 待合室

cfu/m ³ avg.	UVGI OFF時	UVGI ON 1 時間後
	636	152
相対湿度	—	—
増減率	—	▲76.10%

表8 歯科医院 診療室

cfu/m ³ avg.	UVGI OFF時	UVGI ON 1 時間30分後
	1048	178
相対湿度	—	—
増減率	—	▲83.02%

検査中、談話室への人の出入りは74回に及んだが、UR-UVGI作動後2時間でcfuは396となり（減少率83.23%）、空気感染の危険は大幅に低減された。

(4) 小児科 待合室（表6）

免疫力が未発達な乳幼児が集まる小児科待合室は、空気感染対策の必要性が高い空間の1つである。UR-UVGI作動後3時間30分でcfuは168となり、清浄度を一般手術室レベルまで引き上げることができた。

(5) 調剤薬局 待合室（表7）

医療従事者の二次感染のリスクは高く、調剤薬局のスタッフ（薬剤師）も例外ではない。UR-UVGI作動後1時間でcfuは152（一般手術室レベルの清浄度）となり、二次感染のリスクは大きく低減されたものとする。

(6) 歯科医院 診療室（表8）

歯科医院の診療室においては、治療中に病原菌を含むエアロゾル発生の可能性があり、空気感染対策の必要性が高い空間のひとつである。ここでも、UR-UVGI作動後1時間30分でcfuは178（一般手術室レベルの清浄度）となり、空気感染の危険性は大きく低減された。

(7) 宿泊施設 ホテル ロビー1F（表9-1）・客室（表9-2）

表9-1はホテルのロビー1Fでの検査結果である。UR-UVGI作動前のcfuは2180以上と、汚染度の高い空間で

表9-1 宿泊施設 ホテル ロビー1F

cfu/m ³ avg.	UVGI OFF時	UVGI ON 1 時間50分後
	2180以上	86
相対湿度	75%	—
増減率	—	▲96.06%以上

表9-2 宿泊施設 ホテル 客室

cfu/m ³ avg.	UVGI OFF時	UVGI ON 1 時間30分後
	732	152
相対湿度	67.5%	68.5%
増減率	—	▲79.23%

表10 ショールーム

cfu/m ³ avg.	UVGI OFF時	UVGI ON 19時間後
	240	32
相対湿度	—	—
増減率	—	▲86.67%

表11 厨房

cfu/m ³ avg.	UVGI OFF時	UVGI ON 1 時間10分後
	490	72
相対湿度	62%	62.5%
増減率	—	▲85.30%

あったが、作動後1時間50分後にはcfuは86（減少率96.06%以上）となった。ホテルのロビーのように不特定多数の人が集まる空間では空気感染のリスクが高まるが、UR-UVGIはその対策方法として非常に有効な手段であることが証明されたと考える。

表9-2は、相対湿度が高い（65%超）空間でも高い殺菌効果を上げた例として挙げた。UVGIの殺菌能力は相対湿度が60%を超えると極端に落ちるともいわれるが³⁾、この例も含めて当社が有する検査データのうち相対湿度が60%を超えても“極端”に落ちるとまではいえない例がいくつかある（但し、同一空間（客室）の相対湿度を、例えば50%以下に設定して検査を行い比較するということはしていない）。さらに調査・研究が必要と思われる。

(8) ショールーム（表10）

UR-UVGIは、基本的には24時間連続で作動させることで高い殺菌効果を上げることができる。この例では、19時間作動後、cfuが32という非常に高い効果を上げることができた。

(9) 厨房（表11）

厨房には、人や食材、あるいは人の出入りの際に流入する塵埃などに付着した菌が持ち込まれ浮遊すると考えられるが、このような浮遊菌に対してもUR-UVGIは有効であり、食中毒対策として、あるいは食品の鮮度・品

表12 菓子製造ライン 包装室

cfu/m ³ avg.	UVGI OFF時	UVGI ON 2 時間後
	320	28
相対湿度	—	—
増減率	—	▲91.25%

表13 水産加工場

cfu/m ³ avg.	UVGI OFF時	UVGI ON 1 時間30分後	UVGI ON 48時間後
	185	129	81
相対湿度	—	—	—
増減率	—	▲30.27%	▲56.22%

表14 水産加工場

cfu/m ³ avg.	UVGI OFF時	UVGI ON 1 時間30分後
	102	40
相対湿度	63%	64%
増減率	—	▲60.78%

質保持の目的で導入が進んでいる。

(10) 菓子製造ライン 包装室（表12）

製造ライン空間の浮遊菌を減少させることで、加工食品（菓子）の品質保持を図るために導入された。検査は最終工程である包装室で行われたが、作動後2時間でcfuが28と、極めて高い清浄度まで引き上げることができた。

(11) 水産加工場（表13）

この例では真菌について述べる。真菌は細胞が胞子で包まれているため、ウイルスや細菌と比較して紫外線に対する抵抗力が強い。検査の結果、真菌類が検出されたが、UR-UVGI作動後1時間30分後では目立った殺菌効果が出なかったのはこれが理由と考える。しかし、長時間連続して作動させれば真菌も殺菌できる。作動前はcfuは185（準清潔作業区域）であったが、48時間後には81（清潔作業区域）まで清浄度を引き上げることができたのは、この証明になると考える。

(12) 水産加工場（表14）

この水産加工場では、既に上方照射型の紫外線殺菌灯が8台設置されていた。これを作動させたまま1回目のエアサンプリングを行い、その後UR-UVGI4台を作動させ、1時間30分後に2回目のエアサンプリングを行なった結果がこの例である。最終的に減少率は60.78%となったが、これはUR-UVGIの殺菌能力の高さを証明するものと考えられる。

(13) 個人宅（表15）

最後は個人宅の応接間とリビングで実施した検査の結果である。免疫力が低下もしくは未発達の方を在宅看護しなければならない状況では空気感染対策の必要性が高

表15 個人宅

応接間	cfu/m ³ avg.	UVGI OFF時	UVGI ON 24時間後
		1176	256
	相対湿度	—	—
	増減率	—	▲78.23%
リビング	cfu/m ³ avg.	UVGI OFF時	UVGI ON 24時間後
		102	40
	相対湿度	—	—
	増減率	—	▲60.78%

いが、この例では、UR-UVGIがその必要性を満たす一つの方法であることを証明できたと考える。

4. 課題と今後の展開

欧米では、紫外線による空気殺菌方法について多くの研究がなされ、積極的に導入されている。例えば、CDCガイドライン¹⁾の記述や世界ビルサービス連盟「健康のための清掃」報告書、日本国内の論文である「北米における室内空気紫外線殺菌の活用（平成20年度空気調和・衛生工学会学術講演論文集）」²⁾からもそのことがうかがえる。また、2013年1月、アメリカのダラスで開催されたアメリカ暖房冷凍空調学会（ASHRAE）の総会に参加した際、紫外線による空気殺菌装置が独立したブースで展示されているのを見たこともその印象を強くしている（日本でも、工学的見地から優れた研究が多数行われている。例えば、「室内気流特性に基づいた室内上部UVGIの殺菌効果に関する考察（日本建築学会大会学術講演梗概集（九州）」³⁾など。その他は参考文献を参照）。

欧米で普及が進んでいる理由は、紫外線の殺菌能力の高さや特性（耐性菌を生まない）と、UR-UVGIに関しても、導入が容易であること、低コスト等にあると考えている。残念ながら、日本では、紫外線による「空気」殺菌方法は、理解され、普及しているとは言い難い状況である。しかし、当社としては、欧米の状況や国内の優れた研究成果を踏まえ、自信と使命感を持って、課題と今後の展開を述べたい。

UR-UVGIに関して、今後の課題と考えるのは、「空調システムとの連動」である。UR-UVGIは、室内の自然対流を利用するが、その自然対流を生み出す要因は、人の呼吸、動作、冷暖房機器により生み出される空間内の温度差等の複雑な組み合わせであるから、現場ごとに異なるし、同じ現場でも日によって、時間帯によって異なる。このように、ある意味で不安定な要因にUR-UVGIの殺菌効果は左右されるが、そのような変化に富む条件

の中でも最大限の殺菌効果を引き出すために、空調に関する理解をさらに深め、UR-UVGIと空調システムが生み出す気流、空気の混合とを連動させることが重要だと考える。

また、エアフィルタを組み込んだ空調機器との相互補完関係についても課題として研究を進めたい。例えば、「病院施設における室内環境の衛生管理に関する研究 第2報—外来待合室内浮遊微生物汚染の実態とその対策方法」⁹⁾によれば、病院の待合室のように特定の時間帯に多数の人が集まる環境では、日本病院設備協会規格に基づいていても、エアフィルタの捕集性能、給気量が不十分であるため、室内浮遊細菌濃度が著しく高くなることもあり、そのような場合の対策方法のひとつとして、UR-UVGIの設置が提唱されている。これは細菌に関してのものであるが、ウイルスについては、CDCガイドライン¹⁾に、エアフィルタが最も低い捕集率を示す粒径200 nm付近のウイルスに対してUVGIが有効であるとの報告がなされている。以上からすると、空気感染対策のために空気中の浮遊菌数を一定レベルまで下げ、それを維持するためには、エアフィルタとUR-UVGIを組み合わせることが非常に合理的で有効だということが分かる。

以上の課題をクリアしていけば、様々な現場における空気感染対策のレベルを効率的に上げることができると考える。新築建物であれば、設計の段階で、空調システムとUR-UVGIの連動と相互補完関係を理解しておけば、それだけでも殺菌効果を高い次元で維持でき、かつ費用対効果の高い空気感染対策ができる。既存建物であれば、既に設置してある空調システムの能力・状態を分析し、建物の構造、強度も把握した上で、効果的な空気感染対策を提案できる。例えば、空調システムの能力が低く、かつ窓がないため外気を取り入れることが困難な室空間では、吸排気のためのファンを内蔵したエアロシールドのポータブル型を稼働させることで殺菌しつつ対流を起こし、UR-UVGIでも殺菌することで高い殺菌効果が得られるであろう（CDCガイドライン¹⁾181頁にある実験では、UR-UVGIで得られた相当ACH（時間換気回数）が17、室空気循環ユニットで得られた相当ACHが11で、2つのシステムを使用して測定された相当ACHは27であったとある）。

5. おわりに

UR-UVGIが空気感染対策として万能であるとはまったく考えていない。では、ひとつの万能な対策というものがあるかと問われれば、答えはノーであろう。施設のすべての空間に高性能HEPAフィルターを用いた空調シ

ステムを導入すれば、あるいは万能の対策といえるかもしれないが、あまりに非現実的である。空間には其々個性があり求められる清浄度も様々であること、対策装置・対策システムもそれぞれ個性（長所と短所）があること、対策に費やすことができる予算も様々であること、これらのファクターをしっかりと組み合わせることで空気感染の危険性を最小限に抑える複合的な対策が現実的であろう。UR-UVGIは、このような組み合わせの中の重要なファクターであると考えている。

当社は、エアロシールドを通じて、感染症の被害を無くしたいと考えてきた。被害とは、感染症に罹患することだけではない。以下は、不幸にも院内感染（空気感染）によって入院患者が死亡した病院のスタッフの述懐である。「お金で補償できるものはすべて保険で補償しました。しかし、お金で補償できないもの、失った信頼、負い目、各方面への謝罪・対応による心身の疲れ、こういったものはお金で埋め合わせることはできません」。現場で懸命に働くスタッフに圧しかかったこのようなプレッシャーも被害である。このような被害をも無くさなければならぬと考えている。

6. 謝辞

最後になったが、賀来満夫氏（東北大学大学院 感染制御・検査診断学分野教授 第28回日本環境感染学会会長）には、エアロシールド開発以降、機会があるごとに有益なアドバイスをいただいた。謙虚に、かつ情熱を持って困難な課題に取り組み続ける氏に深く感謝の意を表したい。

引用文献

- 1) 満田年宏（訳・著）：医療環境における結核菌の伝播予防のためのCDCガイドライン、メディカ出版、2006
- 2) 加藤信介、他：北米における室内空気紫外線殺菌の活用、平成20年度空気調和・衛生工学会学術講演論文集、2008
- 3) 成旻起、他：室内気流特性に基づいた室内上部UVGIの殺菌効果に関する考察、日本建築学会大会学術講演梗概集（九州）、2007
- 4) 柳宇、他：病院施設における室内環境の衛生管理に関する研究 第2報—外来待合室内浮遊微生物汚染の実態とその対策方法、空気調和・衛生工学会論文集No. 141、2008

参考文献（文中に引用した以外にも多くの文献を参考にさせていただいた）

- ・柳宇、他：室内環境中における微生物汚染の実態とその対策方法、空気調和・衛生工学会大会学術論文集、2008
- ・鍵直樹、他：病院施設における室内環境の衛生管理に関する研究 第1報—空気環境法定測定に準じた実態調査、空気調和・衛生工学会論文集No.137、2008
- ・田中堤子、他：病室におけるUR-UVGIシステムの殺菌効果解析、平成20年度空気調和・衛生工学会学術講演論文集、2008
- ・成旻起、他：紫外線殺菌システムの殺菌効果評価のためのCFD解析方法の検討、平成20年度空気調和・衛生工学会学術講演論文集、2008
- ・成旻起、加藤信介：流体シミュレーションを用いた吸排気口方式によるUR-UVGIの殺菌効果の考察、生産研究60巻1号、2008
- ・成旻起、加藤信介：換気効率に基づいたUVGIの殺菌効果の考察—吸排気口によるUVGI領域の滞在時間比較—、平成19年度室内環境学会研究発表会、2007
- ・田中堤子、他：UVGIシステムの殺菌性能評価（その2）患者から発生した汚染物質を対象とした解析、日本建築学会学術講演梗概集（中国）、2008
- ・加藤信介、他：UVGIシステムの殺菌性能評価（その5）自然対流及び強制対流による室内上部型UVGIシステムの殺菌性能の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集（東北）、2009
- ・成旻起、加藤信介：UVGIシステムの殺菌性能評価 院内感染を防ごう、クリーンテクノロジー Vol.21 No.8、2011